

10/538222

JCI7 Rec'd PCT/PTO 09 JUN 2005

DOCKET NO.: 273631US0PCT

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

IN RE APPLICATION OF: Kazuyuki NAKANISHI, et al.

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HEREWITH

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/JP03/15741

INTERNATIONAL FILING DATE: December 9, 2003

FOR: SEMICONDUCTOR ELEMENT HEAT DISSIPATING MEMBER, SEMICONDUCTOR  
DEVICE USING THE SAME AND PRODUCTION METHOD THEREOF

**REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119**  
**AND THE INTERNATIONAL CONVENTION**

Commissioner for Patents  
Alexandria, Virginia 22313

Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that  
the applicant claims as priority:

**COUNTRY**  
Japan

**APPLICATION NO**  
2002-357076

**DAY/MONTH/YEAR**  
09 December 2002

Certified copies of the corresponding Convention application(s) were submitted to the  
International Bureau in PCT Application No. PCT/JP03/15741.

Respectfully submitted,  
OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Norman F. Oblon  
Attorney of Record  
Registration No. 24,618  
Surinder Sachar  
Registration No. 34,423

Customer Number

**22850**

(703) 413-3000  
Fax No. (703) 413-2220  
(OSMMN 08/03)

10/538 222  
PCT/JPO3/15741

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

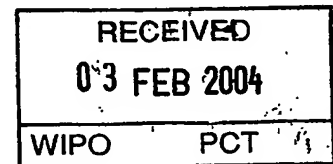
09.12.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2002年12月 9日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2002-357076  
[ST. 10/C]: [JP2002-357076]



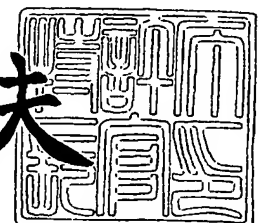
出 願 人  
Applicant(s): 株式会社豊田中央研究所

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 1月15日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 TCP-00197

【提出日】 平成14年12月 9日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 23/373

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内

    【氏名】 太刀川 英男

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内

    【氏名】 長谷川 英雄

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内

    【氏名】 中西 和之

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内

    【氏名】 森 広行

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内

    【氏名】 大島 正

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内

    【氏名】 石子 雅康

**【発明者】**

**【住所又は居所】** 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内

**【氏名】** 宮地 幸夫

**【発明者】**

**【住所又は居所】** 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内

**【氏名】** 山田 靖

**【発明者】**

**【住所又は居所】** 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内

**【氏名】** 上田 博之

**【特許出願人】**

**【識別番号】** 000003609

**【氏名又は名称】** 株式会社豊田中央研究所

**【代理人】**

**【識別番号】** 100079049

**【弁理士】**

**【氏名又は名称】** 中島 淳

**【電話番号】** 03-3357-5171

**【選任した代理人】**

**【識別番号】** 100084995

**【弁理士】**

**【氏名又は名称】** 加藤 和詳

**【電話番号】** 03-3357-5171

**【手数料の表示】**

**【予納台帳番号】** 006839

**【納付金額】** 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9102478

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体素子放熱部材およびそれを用いた半導体装置ならびにその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 金属基体上に半導体素子を1個以上搭載する半導体素子放熱部材において、

前記金属基体の、少なくとも前記半導体素子を搭載する部分に、水素を含む絶縁性非晶質炭素膜を設けたことを特徴とする半導体素子放熱部材。

【請求項2】 前記絶縁性非晶質炭素膜に含まれる水素の含有量が、20～40at%の範囲内であることを特徴とする請求項1に記載の半導体素子放熱部材。

【請求項3】 前記絶縁性非晶質炭素膜が、ケイ素を含むことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の半導体素子放熱部材。

【請求項4】 前記絶縁性非晶質炭素膜に含まれるケイ素の含有量が、1～30at%の範囲内であることを特徴とする請求項3に記載の半導体素子放熱部材。

【請求項5】 前記絶縁性非晶質炭素膜の前記半導体素子を搭載する側の面に、絶縁性有機膜を設けたことを特徴とする請求項1～4のいずれか1つに記載の半導体素子放熱部材。

【請求項6】 前記金属基体が、少なくとも、Al、Cu、Mo、W、Si、Feのいずれか1つ以上を含むことを特徴とする請求項1～5のいずれか1つに記載の半導体素子放熱部材。

【請求項7】 前記半導体素子が、バイポーラ型トランジスタ、MOS型トランジスタ、ダイオード等のパワーデバイス、または、大規模集積回路等の半導体チップであることを特徴とする請求項1～6のいずれか1つに記載の半導体素子放熱部材。

【請求項8】 少なくとも、金属基体上に、水素、若しくは、水素及びケイ素を含む絶縁性非晶質炭素膜を形成する工程を経て作製される請求項1～7のいずれか1つに記載の半導体素子放熱部材の製造方法であって、

前記絶縁性非晶質炭素膜が、プラズマCVD法により形成されることを特徴とする半導体素子放熱部材の製造方法。

【請求項9】 前記絶縁性非晶質炭素膜を形成する工程を経た後に、前記絶縁性非晶質炭素膜の表面に絶縁性有機膜を形成する工程を経て作製される請求項5～7のいずれか1つに記載の半導体素子放熱部材の製造方法であって、

前記絶縁性有機膜が、電気泳動を利用して形成されることを特徴とする半導体素子放熱部材の製造方法。

【請求項10】 少なくとも、請求項1～7のいずれか1つに記載の半導体素子放熱部材と、該半導体素子放熱部材に搭載される1個以上の半導体素子と、を含む半導体装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体素子に発生する熱を放散・冷却するための半導体素子放熱部材およびそれを用いた半導体装置ならびにその製造方法に関するものである。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

電力制御を伴う半導体素子の高出力化・小型化によって発熱量の増大が問題となっている。従来の半導体装置では、半導体素子を電氣的に隔離するため絶縁体からなる基板に搭載し、さらにこの絶縁体基板をヒートシンク（放熱板）および冷却板に搭載したモジュールを構成していた。

##### 【0003】

電気絶縁性と熱伝導性が要求されるヒートシンク材料としては、AlN（特許文献1参照）やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が一般に用いられている。

特許文献1に開示されているようなAlNのようなセラミックス基板を用いた半導体装置の構造の一例としては、例えば、AlNからなる絶縁体基板の両面にCu板などの導電層がろう付けされ、片方のCu板の表面にNiメッキを施し、このNiメッキを施した表面に半導体素子を設け、もう一方のCu板の表面に放熱板をハンダ付けした構造が挙げられる。

## 【0004】

また他の構造として、AlNからなる絶縁体基板の両面にAlからなる導電層を接合し、片方のAl導電層の表面に半導体素子を設け、もう片方のAl導電層の表面に熱応力緩和を兼ねたCu-MoやAl-SiCからなる放熱板をハンダ付し、この放熱板にグリースを介してAl冷却板を設けた構造なども挙げられる。

しかし、上記に例示したような従来のAlN等のセラミックスを用いた半導体装置は、その構造が多層且つ複雑であるために、放熱特性が十分とは言えず製造コストも高かった。

## 【0005】

さらにヒートシンクの放熱特性を向上させるため、気相合成ダイヤモンド（硬質絶縁性結晶質炭素膜）基板やAlNに気相合成ダイヤモンドをコーティングした基板をヒートシンクとして利用することも報告されている（特許文献2、3参照）。

しかし、熱伝導率の高いダイヤモンドをヒートシンクに用いた場合には、放熱特性は向上するものの、①（気相合成法により）成長したダイヤモンドの表面は凸凹が大きく、表面の研磨が必要である上に、十分な平滑性を確保することが非常に困難、②剥離が起こり易く、また、ダイヤモンドを成長させるために予め金属基体表面をダイヤモンド研磨で粗す等の表面活性化処理が必要であり、さらに、全ての金属基体上にダイヤモンドを成長させることができない（例えば、AlやCu上にはダイヤモンドを形成することができない）、③成膜速度が遅いため生産性が低く、製造コストが高くなる、④ダイヤモンドは他の物質との濡れ性が悪く、電極形成が容易ではない等の問題があった。

## 【0006】

一方、熱伝導特性ではダイヤモンドに劣るものの製造が容易な非晶質構造を有する絶縁性非晶質炭素膜を半導体素子の保護層として成膜した例も報告されている（特許文献4参照）。

しかし、半導体素子がIGBT素子等のパワーデバイスである場合、絶縁性非晶質炭素膜を保護層として半導体素子に成膜したとき、この半導体素子の横方向



に対する熱の放散には寄与するものの、半導体素子の縦方向、すなわち半導体素子の保護層が設けられた側と反対側の面に設けられたヒートシンクを介して行う熱の放散と比較するとその寄与度は小さく、全体として放熱特性が不十分な場合があった。

#### 【0007】

以上に説明したような問題に加えて、半導体装置が過酷な環境下に曝されても、安定した放熱特性や絶縁耐性を維持し続けることも重要である。しかしながら、半導体装置が $-20^{\circ}\text{C}$ ～ $150^{\circ}\text{C}$ の間での冷熱サイクルに曝された場合に、ダイヤモンド膜などを含む多層膜設けたヒートスプレッダーでは膜の剥離が発生することが報告されている（非特許文献1参照）。このような剥離が発生した場合、放熱特性や絶縁耐性が低下してしまうことになる。

#### 【0008】

##### 【特許文献1】

特開平7-99268号公報

##### 【特許文献2】

特開平11-292692号公報

##### 【特許文献3】

特開2000-174166号公報

##### 【特許文献4】

特開平10-32213号公報

##### 【非特許文献1】

Solid-State Electronics, Vol. 42, No. 1  
2, p2199-2208 (1998)

#### 【0009】

##### 【発明が解決しようとする課題】

上記に説明したように、従来のヒートシンク等の半導体素子に発生する熱を放散・冷却する部材およびこれを用いた半導体装置では、半導体素子に発生した熱の放熱特性、半導体素子との密着性、前記した部材やこれを用いた半導体装置の低コスト化の全てを高いレベルで満足させることが困難であった。

## 【0010】

本発明は、上記問題点を解決することを課題とする。すなわち、本発明は、放熱特性および密着性に優れ、低コストで半導体装置を作製することができる半導体素子放熱部材、および、それを用いた半導体装置並びにその製造方法を提供することを課題とする。

## 【0011】

## 【課題を解決するための手段】

上記課題は以下の本発明により達成される。すなわち、本発明は、

<1> 金属基体上に半導体素子を1個以上搭載する半導体素子放熱部材において、

前記金属基体の、少なくとも前記半導体素子を搭載する部分に、水素を含む絶縁性非晶質炭素膜を設けたことを特徴とする半導体素子放熱部材である。

## 【0012】

<2> 前記絶縁性非晶質炭素膜に含まれる水素の含有量が、20～40 at %の範囲内であることを特徴とする<1>に記載の半導体素子放熱部材である。

## 【0013】

<3> 前記絶縁性非晶質炭素膜が、ケイ素を含むことを特徴とする<1>または<2>に記載の半導体素子放熱部材である。

## 【0014】

<4> 前記絶縁性非晶質炭素膜に含まれるケイ素の含有量が、1～30 at %の範囲内であることを特徴とする<3>に記載の半導体素子放熱部材である。

## 【0015】

<5> 前記絶縁性非晶質炭素膜の前記半導体素子を搭載する側の面に、絶縁性有機膜を設けたことを特徴とする<1>～<4>のいずれか1つに記載の半導体素子放熱部材である。

## 【0016】

<6> 前記金属基体が、少なくとも、Al、Cu、Mo、W、Si、Fe

のいずれか1つ以上を含むことを特徴とする<1>~<5>のいずれか1つに記載の半導体素子放熱部材である。

【0017】

<7> 前記半導体素子が、バイポーラ型トランジスタ、MOS型トランジスタ、ダイオード等のパワーデバイス、または、大規模集積回路等の半導体チップであることを特徴とする<1>~<6>のいずれか1つに記載の半導体素子放熱部材である。

【0018】

<8> 少なくとも、金属基体上に、水素、若しくは、水素及びケイ素を含む絶縁性非晶質炭素膜を形成する工程を経て作製される<1>~<7>のいずれか1つに記載の半導体素子放熱部材の製造方法であって、

前記絶縁性非晶質炭素膜が、プラズマCVD法により形成されることを特徴とする半導体素子放熱部材の製造方法である。

【0019】

<9> 前記絶縁性非晶質炭素膜を形成する工程を経た後に、前記絶縁性非晶質炭素膜の表面に絶縁性有機膜を形成する工程を経て作製される<5>~<7>のいずれか1つに記載の半導体素子放熱部材の製造方法であって、

前記絶縁性有機膜が、電気泳動を利用して形成されることを特徴とする半導体素子放熱部材の製造方法である。

【0020】

<10> 少なくとも、<1>~<7>のいずれか1つに記載の半導体素子放熱部材と、該半導体素子放熱部材に搭載される1個以上の半導体素子と、を含む半導体装置である。

【0021】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明を半導体素子放熱部材、半導体素子放熱部材の製造方法、半導体装置の順に大きくわけて説明する。

【0022】

(半導体素子放熱部材)

本発明は、金属基体上に半導体素子を1個以上搭載する半導体素子放熱部材において、前記金属基体の、少なくとも前記半導体素子を搭載する部分に、水素を含む絶縁性非晶質炭素膜を設けたことを特徴とする。

#### 【0023】

従って、本発明の半導体素子放熱部材は、半導体素子に発生する熱の放熱特性に優れ、半導体素子やその他の部材との密着性に優れ、さらに、半導体素子放熱部材およびこれを用いた半導体装置をより低コストで製造することができる。

#### 【0024】

なお、本発明において、「半導体素子放熱部材」とは、半導体素子を搭載し、該半導体素子に発生する熱を放散および／または冷却する部材を意味し、具体的には、ヒートシンク、ヒートスプレッダー、放熱板、冷却板等と呼ばれるような、半導体素子に発生する熱の放散や冷却に関与する放熱部材を意味する。

また、本発明の半導体素子放熱部材は、金属基体上に、少なくともこの金属基体と半導体素子との間を電氣的に絶縁するように絶縁性非晶質炭素膜を設けたものであり、この絶縁性非晶質炭素膜上に半導体素子を搭載するものであるが、金属基体と絶縁性非晶質炭素膜との間や、絶縁性非晶質炭素膜と半導体素子との間には、必要に応じて、他の膜や基板を設けることができる。なお、詳細については後述する。

#### 【0025】

本発明の半導体素子放熱部材は、金属基体の、少なくとも半導体素子を搭載する部分に絶縁性非晶質炭素膜を設けているために、従来のAlN等のセラミックスからなる半導体素子放熱部材を用いた部材と比較すると、半導体素子の厚み方向に対して半導体装置の構造をより単純で薄い層構成とすることができるために、半導体素子の放熱特性に優れ、低コストでより簡易な構成を有する半導体装置を得ることができる。

#### 【0026】

さらに、ダイヤモンド基板やダイヤモンド層を設けた基板を利用した半導体素子放熱部材と比較した場合、絶縁性非晶質炭素膜の成膜速度はダイヤモンドと比べると速いために生産性が高く、製造コストを低くすることができる。

また、ダイヤモンドはその表面に結晶成長面が現れるためにその表面凸凹が大きく、表面の研磨が必要である上に、十分な平滑性を確保することが非常に困難であり、他の物質との濡れ性が悪い。また多結晶体で粒界を有するために、極めて脆く、個々の結晶に起因した熱膨張係数等の物性や構造の異方性を有する。一方、絶縁性非晶質炭素膜は、結晶構造を有さないために等方的であり、膜厚が均一で、表面凹凸が無く、他の物質との濡れ性も良好である。

#### 【0027】

このため、絶縁性非晶質炭素膜は、ダイヤモンドと比較して多結晶性に起因する表面凹凸が無いために、半導体素子の厚み方向に対して電圧を印加した場合において高く均一な耐電圧性を確保したり、絶縁性非晶質炭素膜に接して設けられる電極層の断線等に対する信頼性を向上することができる。また、熱膨張係数等の物性や構造の異方性が無いために、これらの要因による半導体素子と絶縁性非晶質炭素膜との間の剥離が起こりにくい。さらに、他の物質との濡れ性が良好であるために、絶縁性非晶質炭素膜に接して電極等を形成することが容易である。

#### 【0028】

なお、特開昭63-124555号公報や特開2001-332798号公報には、半導体素子に発生する熱を効率的に放散させるために、金属やSiからなる基材上に擬似ダイヤモンド状炭素膜やダイヤモンド状炭素層（以下、両者をまとめて「ダイヤモンド状炭素膜」と略す）を用いることが報告されている。しかしながら、このダイヤモンド状炭素膜に関しては、その結晶性の有無等、物性や構造、組成の詳細については特に触れられていない。また、本発明のように金属基体と半導体素子との間に設けられる炭素膜を、上記したような効果の達成を目的として意図的に非晶質とするような検討は何らなされておらず、さらに、後述するように炭素膜に水素やケイ素を意図的に添加した場合についても何らの検討も為されていない。

#### 【0029】

また、本発明に用いられる絶縁性非晶質炭素膜は、水素を含むことを特徴とする。絶縁性非晶質炭素膜が水素を含まない場合には、絶縁性非晶質炭素膜が脆くなり、半導体素子との剥離が起こり易くなる。

絶縁性非晶質炭素膜に含まれる水素の含有量は特に限定されないが、剥離防止の観点からは20at%以上であることが好ましく、25at%以上であることがより好ましい。水素の含有量は多ければ多いほど絶縁性非晶質炭素膜がより柔軟になるために剥離防止の上では好ましいが、水素の含有量が多すぎる場合には、絶縁性非晶質炭素膜がポリマー状の構造となり、強度が大幅に低下することにより逆に剥離が起こりやすくなる場合がある。従って、この観点からは水素の含有量は40at%以下であることが好ましく、35at%以下であることがより好ましい。

#### 【0030】

更に、剥離を防止し、より密着性を向上させるためには、水素に加えて絶縁性非晶質炭素膜がケイ素も含むことが好ましい。絶縁性非晶質炭素膜が水素に加えてケイ素を含むことにより、Siを主たる構成成分とする半導体素子と絶縁性非晶質炭素膜との熱膨張係数の差を小さくすることができるために、半導体素子と絶縁性非晶質炭素膜との熱膨張係数差に起因する応力の発生を緩和できる。これにより、絶縁性非晶質炭素膜が水素のみを含有する場合と比較して、特に大きな温度変化に曝された場合における剥離の発生をより効果的に防止することができる。加えて、絶縁性非晶質炭素膜の残留応力をより小さくすることができるために、ケイ素を含まない絶縁性非晶質炭素膜と比較して、絶縁性非晶質炭素膜の膜厚をより厚くすることができ、耐電圧性をより向上させることも可能である。

#### 【0031】

絶縁性非晶質炭素膜に含まれるケイ素の含有量は特に限定されないが、1at%～30at%の範囲内であることが好ましく、5at%～20at%の範囲内であることがより好ましい。ケイ素の含有量が1at%未満である場合には、大きな温度変化に曝された場合に半導体素子と絶縁性非晶質炭素膜との熱膨張係数差に起因する応力が大きくなり剥離が発生する場合がある。一方、30at%を超える場合には、絶縁性非晶質炭素膜の導電性が増大し、半導体素子と金属基体との間の絶縁性を確保できなくなる場合がある。

#### 【0032】

また、絶縁性非晶質炭素膜の膜厚は、少なくとも0.1 $\mu$ m以上であることが

好ましく、 $0.5\mu\text{m}$ 以上であることがより好ましい。 $0.1\mu\text{m}$ 未満の場合には、半導体素子と金属基体との絶縁性が得られない場合がある。また、絶縁性非晶質炭素膜の膜厚の上限は特に限定されないが、半導体素子に発生した熱を金属基体へと効率的に放散させるためには数十 $\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、また、絶縁性非晶質炭素膜の成膜に要する時間を考慮した場合には $6\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。

さらに、絶縁性非晶質炭素膜は単層構造からなるものであってもよいが、絶縁性や半導体素子や金属基体に対する密着性等、絶縁性非晶質炭素膜に求められる種々の特性を高いレベルで達成するために、膜厚方向に対して水素やケイ素の含有量が異なる2層以上の多層構造や傾斜構造からなるものであってもよい。

#### 【0033】

一方、半導体素子放熱部材として要求される絶縁耐圧は、搭載する半導体素子の種類や定格に応じて異なるものの、例えば、MOS型トランジスタに対しては約 $100\text{V}$ 以上であることが好ましく、IGBT素子に対しては約 $300\text{V}$ 以上であることが好ましく、 $1000\text{V}$ 以上であれば、いずれの半導体素子を用いても十分に対応可能である。

以上に説明したような本発明に用いられる絶縁性非晶質炭素膜は、電気絶縁性に優れるため、金属基体上の所望の領域に欠陥無く形成された場合には、このような要求を満たすに十分な絶縁耐圧を得ることができる。

#### 【0034】

しかしながら、実際には十分な耐電圧性を得られない場合があり、絶縁耐圧が $100\text{V}$ を下回るような場合もある。

これは、本発明に用いられる絶縁性非晶質炭素膜以外の炭素膜についても一般的に起こり得る現象であり、例えば、Si基板上にDLC膜(Diamond Like Carbon)をプラズマCVD法により形成した場合の絶縁耐圧は $50\text{V}$ や $70\text{V}$ 程度であることが報告されている(NEW DIAMOND、Vol. 14、No. 1、p19~23)。

#### 【0035】

このような絶縁耐圧の低下は、本発明に用いられる絶縁性非晶質炭素膜そのも

のの特性に起因するものではなく、金属基体上にCVD法（Chemical Vapor Deposition）等の気相成膜法を利用して絶縁性非晶質炭素膜を形成する際に、塵埃が予め金属基体表面に付着していたり、成膜装置内の塵埃が金属基体表面に付着したりすることにより、絶縁性非晶質炭素膜の膜厚が局部的に薄くなった箇所（所謂ピンホール欠陥）が発生しているためであると考えられる。

#### 【0036】

このようなピンホール欠陥は、成膜装置の清掃や成膜環境のクリーン化によってある程度抑制することができる。しかし、成膜条件（ガス流量や圧力、パワー等）によっては、成膜装置内に塵埃が発生しやすくなる場合がある。従って、塵埃が発生しにくい成膜条件に設定することが好ましいが、実際には成膜装置の構造（ガス配管系等）上の制約により困難な場合が多い。

#### 【0037】

このような問題を抜本的に解決するには、気相成膜を用いて成膜される絶縁性非晶質炭素膜のような膜ではなく、有機物からなる絶縁膜を用いることが好適である。しかし、絶縁性非晶質炭素膜の代りに有機物からなる絶縁膜を用いた場合には絶縁耐圧を高くするために膜厚を大きくする必要があり、これに加えて有機物の熱伝導率は極めて低い（約 $1\text{ W/K}\cdot\text{m}$ 程度）ために、熱抵抗が高くなるという問題がある。

#### 【0038】

しかしながら、本発明においては、絶縁性非晶質炭素膜の半導体素子を搭載する側の面に絶縁性有機膜を設けることにより、ピンホール欠陥部分が絶縁性有機膜により埋め込まれるため、優れた放熱特性を保ちつつ、耐絶縁性を向上させることができ、ピンホール欠陥が多い場合でも、少なくとも $100\text{ V}$ 以上の絶縁耐圧を容易に得ることも可能であり、ピンホール欠陥が少ない場合には $1000\text{ V}$ 以上の絶縁耐圧を得ることも容易である。

なお、絶縁性有機膜は、絶縁性非晶質炭素膜の半導体素子を搭載する側の面全体を覆うように設けてもよいが、一部に設けるだけでもよい。なお、一部に設ける場合には、少なくともピンホール欠陥により絶縁性非晶質炭素膜の膜厚が薄く



なっている部分を埋め込むように設けることが好ましい。

#### 【0039】

また、ピンホール欠陥以外の部分も覆うように絶縁性有機膜を設ける場合、絶縁性有機膜の膜厚（但し、当該膜厚とは、ピンホール欠陥以外の部分に設けられた絶縁性有機膜の膜厚を意味する）としては、特に限定されないが、 $6\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $1\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $0.5\mu\text{m}$ 以下であることが最も好ましい。なお、膜厚が $10\mu\text{m}$ を超える場合には、放熱特性が低下する場合がある。

絶縁性有機膜を構成する材料としては、公知の絶縁性を有する有機材料を用いることができる。なお、このような材料の具体例や、絶縁性有機膜の形成方法の詳細については後述する。

#### 【0040】

本発明に用いられる金属基体は、公知の金属材料からなるものであれば特に限定されないが、金属材料の熱伝導率が $10\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以上であることが好ましく、 $100\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以上であることがより好ましい。

半導体素子の熱を効率的に放散させるために金属基体の熱伝導率は高ければ高い程好ましく、このような観点から、金属基体は、少なくともAl、Cu、Mo、W、Si、Feのいずれか1つ以上を含むことが好ましい。金属基体は、これら金属単体からなるものであってもよいが、これらを含む複合材や混合物であってもよく、Al-Si、Al-SiC、Cu-Mo、Cu-W等の合金であってもよい。

#### 【0041】

本発明の半導体素子放熱部材に搭載される半導体素子は、公知の半導体素子であれば特に限定されず、このような半導体素子としては、例えば、IGBT素子等のバイポーラ型トランジスタ、MOS型トランジスタ、ダイオード等のパワーデバイスや、大規模集積回路等の半導体チップを挙げることができる。本発明の半導体素子放熱部材は、半導体素子に発生した熱を効率的に放散することが可能であるため、発熱量の大きい半導体素子に対して用いることが好適である。

#### 【0042】

### (半導体素子放熱部材の製造方法)

本発明の半導体素子放熱部材の製造方法は、少なくとも、金属基体上に、上記したような水素、若しくは、水素及びケイ素を含む絶縁性非晶質炭素膜を形成する工程を経て作製されるものであれば特に限定されない。なお、絶縁性非晶質炭素膜を金属基体上に形成する際には、スパッタリング法等の公知の絶縁性非晶質炭素膜の成膜が可能な成膜方法を利用することができるが、プラズマCVD法により形成されることが好ましい。

プラズマCVD法は、絶縁性非晶質炭素膜の成膜速度が速い為に生産性が高く、半導体素子放熱部材をより低コストで作製することが可能である。また、成膜には方向性が無く、いずれの方向から成膜しても均一な膜厚で成膜することができるため、金属基体が凹凸を有するなどの複雑な形状であっても、金属基体上のいずれの部位にも容易に均一な膜厚の絶縁性非晶質炭素膜を形成することができる。また、絶縁性非晶質炭素膜が水素に加えてケイ素も含む場合は、より密着性が高まるために、膜厚をより均一とすることができる。

#### 【0043】

プラズマCVD法により絶縁性非晶質炭素膜を形成する際の原料ガスとしては、炭素および水素を供給する原料ガスとしては、例えばメタン ( $\text{CH}_4$ )、エタン ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) 等の飽和炭化水素、エチレン ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) やアセチレン ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) 等の不飽和炭化水素、ベンゼン ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) 等の芳香族炭化水素が利用可能であり、これらのガスを水素ガスと混合して用いてもよい。また、炭素や水素と共にケイ素を供給する原料ガスとしては、テトラメチルシラン、シラン、塩化ケイ素等のケイ素化合物が利用可能であり、希釈ガスとしては、窒素 ( $\text{N}_2$ ) 等の不活性ガスのほか、アルゴン (Ar) 等の希ガスが利用可能である。

#### 【0044】

また、絶縁耐圧の向上を目的として、絶縁性非晶質炭素膜の表面に絶縁性有機膜を形成するような場合、この絶縁性有機膜の形成方法としては公知の方法を用いることができる。しかしながら、絶縁性有機膜によりピンホール欠陥を埋め込むように確実に被覆するためには、液相成膜法を用いることが好ましく、特に電気泳動を利用した方法を用いることが好ましい。

## 【0045】

なお、電気泳動を利用する場合には、絶縁性有機膜は以下に説明するようにして形成することができる。

絶縁性有機膜を構成する原料（電着成分）を含む電着液中に、絶縁性非晶質炭素膜が形成された金属基体を浸漬する。次に、予め金属基体に取りつけたリード線や、電着液中に浸漬した電極を介して、絶縁性非晶質炭素膜が形成された金属基体に電界を印加し、電着液中に含まれる電着成分を電着させて、電着膜を形成する。その後、電着膜中に含まれる未反応の成分を除去し、電着膜を乾燥させた後、加熱処理することにより、ピンホール欠陥部分を埋めこみ、またこれ以外の部分を覆うように絶縁性有機膜が形成される。

## 【0046】

なお、電着液中に含まれる電着成分としては、電着可能な公知の水溶性有機物を用いることができるが、例えば、可溶性ポリイミドおよびアミン変性アクリルポリマーを混合・複合化したポリイミド、アミン付加変性エポキシ樹脂、あるいは、ブロック化イソシアネート含有アミン付加変性エポキシ樹脂を基体樹脂とするカチオン粒子等を用いることができる。

## 【0047】

また、電着液に含まれる電着成分以外のその他の成分としては、水以外にも、他の溶媒成分として公知の水溶性有機溶媒を用いることができ、また、酢酸や乳酸等の酸類や、珪酸鉛や磷酸アルミニウム等の塩類を用いることができる。

## 【0048】

（半導体装置）

本発明の半導体装置は、上記したような本発明の半導体素子放熱部材と、該半導体素子放熱部材の少なくとも絶縁性非晶質炭素膜が形成された部分に搭載された半導体素子と、を含むものであれば特に限定されず、他の構成を有していてもよい。また、半導体素子放熱部材に搭載される半導体素子は、1個であってもよいが、2個以上であってもよい。

## 【0049】

なお、半導体素子から絶縁性非晶質炭素膜を介して金属基体へと伝導された熱

は、自然に放散させてもよく、空冷や水冷等の公知の冷却方法を利用して強制的に冷却してもよい。後者の場合には、金属基体そのものが、このような冷却機能を兼ねたものであってもよいが、金属基体の半導体素子が設けられていない部分に金属基体を冷却するための冷却部材を接して設けてもよい。

#### 【0050】

以下に図面を参照しつつ本発明の半導体装置について具体的に説明するが、本発明の半導体装置は以下の構成のみに限定されるものではない。

図1は本発明の半導体装置の主要部の構成の一例について示す模式断面図であり、図1(a)は、半導体装置の主要部の構成の概略について示したものであり、図1(b)は、半導体装置の主要部の構成の詳細(半導体素子厚み方向の層構成)について示したものである。図1中、10は絶縁性非晶質炭素膜、11は放熱板(金属基体)、20は半導体素子、110、120、121は中間層、122ははんだ層、200は半導体装置を示す。

#### 【0051】

図1からわかるように、半導体装置200は、放熱板11上に中間層110を介して絶縁性非晶質炭素膜10が設けられ、絶縁性非晶質炭素膜10上に順次積層された中間層120、121、はんだ層122を介して半導体素子20が搭載されている(なお、図1およびこれ以降において説明する半導体装置の説明に際して、「上」「上側」「上面」とは、金属基体に対して半導体素子が設けられた側の面・方向を意味し、「下」「下側」「下面」とは、金属基体に対して半導体素子が設けられた側と反対側の面・方向を意味するものとする)。

半導体装置200は例えば次のようにして作製することができる。まず、放熱板11上に中間層110、絶縁性非晶質炭素膜10、中間層120、中間層121の順に積層形成する。次に、中間層121と半導体素子20とをはんだ付けすることにより半導体装置200を得ることができる。なお、半導体素子20は、そのはんだ付けする面に、予め中間層(不図示)が設けられているものである。

#### 【0052】

放熱板(金属基体)11は、既述したような金属材料から構成されるものであり、例えば、Cu-Mo合金基板やAl-Si合金基板が用いられる。

また、中間層 110 は、放熱板 11 と絶縁性非晶質炭素膜 10 との間の接着性をより強固にするために設けられるものであり、中間層 120、121 は、絶縁性非晶質炭素膜 10 と半導体素子 20 との間に設ける電極や、絶縁性非晶質炭素膜 10 と半導体素子 20 との接着性をより強固にするために設けられるものであるが、必要に応じて省略してもよく、前記した以外の構成であってもよい。

例えば、中間層 110 は、Ti、Cr、Si、Al 等の金属や、これら金属の窒化物、炭化物等からなり、プラズマ CVD 法やスパッタリング法等により放熱板 11 上に形成される。また、中間層 120 は、Ti 等からなる金属をスパッタリング法等により絶縁性非晶質炭素膜 10 表面に形成され、中間層 121 は、Cu 等からなる金属をスパッタリング法やめっき法により中間層 120 表面に形成される。なお、中間層 110、120、121 の厚みは特に限定されないが、 $0.1\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$  の範囲内であることが好ましい。

#### 【0053】

なお、半導体装置 200 は、放熱板 11 の下面に接するように、半導体素子 20 で発生し、放熱板 11 に伝導された熱を強制的に冷却するための、空冷や液冷式の冷却部材等を接着して設けてもよい。このような冷却部材を設けることにより、半導体素子 20 に発生する熱をより効果的に放散することが可能となる。

なお、この際の接着に用いる接着材料としては、例えばグリースや蠟などを用いることができるが、より熱抵抗の低い蠟を用いることが好ましい。

#### 【0054】

次に、従来の半導体装置の主要部の構成について図面を用いて説明する。図 7 は、従来の半導体装置の主要部の構成の一例について示す模式断面図であり、図 7 (a) は、半導体装置の構成の概略について示したものであり、図 7 (b) は、半導体装置の構成の詳細（半導体素子厚み方向の層構成）について示したものである。図 7 中、30 は絶縁板、110' は中間層、111 は中間層、112 ははんだ層、300 は半導体装置を示し、中間層 111 は図 1 に示す中間層 121 と実質的に同等の機能・構成を有し、符号 110'、111、112 および 300 以外の図 1 と同じ番号の符号で示される部材は、図 1 に示す符号と実質的に同等の機能・構成を有する部材を意味する。また、絶縁板 30 は、半導体素子 20

と放熱板 11 とを絶縁するために設けられた板状の AlN やダイヤモンド等の絶縁体からなるものである。

#### 【0055】

図 7 からわかるように、半導体装置 300 は、放熱板 11 上に順次積層されたはんだ層 112、中間層 111、中間層 110' を介して絶縁板 30 が設けられ、絶縁板 30 上に順次積層された中間層 120、中間層 121、はんだ層 122 を介して半導体素子 20 が搭載されている。

#### 【0056】

なお、半導体装置 300 は例えば次のようにして作製される。まず、絶縁板 30 の片面に中間層 110、中間層 111 を順次積層し、もう片方に中間層 120、中間層 121 を順次積層する。次に、絶縁板 30 の中間層 111 が設けられた側の面と放熱板 11 とをはんだ付けすることにより接着し、絶縁板 30 の中間層 121 が設けられた側の面と半導体素子 20 とをはんだ付けし、半導体装置 300 を得ることができる。なお、半導体素子 20 は、そのはんだ付けする面に、予め中間層（不図示）が設けられているものである。

#### 【0057】

図 1 に示す本発明の半導体装置 200 と図 7 に示す従来の半導体装置 300 とは、半導体素子 20 と放熱板 11 とを絶縁する部材が異なることを除けば、主要な構成は概ね等しいものである。しかし、両者を比較した場合、半導体装置 200の方が半導体装置 300 よりもその層構成が簡易であり、また、半導体装置の作製に際して必要なはんだ付けの回数も、半導体装置 300 では 2 回であったのに対して、半導体装置 200 では 1 回で済み、作製工程がより簡易である。

#### 【0058】

また、絶縁体 30 の厚みが数百  $\mu\text{m}$  程度であるのに対して、絶縁性非晶質炭素膜 10 の厚みは既述したように 0.1  $\mu\text{m}$  ～数十  $\mu\text{m}$  程度の厚みであり、さらに、上記したように半導体装置 200 の方が半導体装置 300 よりも層構成が簡易である。従って、半導体装置 200 の方が半導体装置 300 よりも、半導体素子 20 と放熱板 10 との間隔をより小さくできるために、半導体素子 20 で発生した熱を、放熱板 10 へと伝達し、放散させる場合の放熱効率を高くすることがで

きる。

#### 【0059】

この場合、半導体素子20に通電した際の発熱量が同じでも、半導体装置200に設けられた半導体素子20の方が、半導体装置300に設けられた半導体素子20よりも発熱温度をより低く抑えることができるため、短絡耐量やアバランシェ耐量等の過度な温度上昇による半導体素子20の破壊がより起こりにくくなる。

#### 【0060】

また、半導体素子20に対して許容される最高発熱温度が同じでも、半導体装置200に設けられた半導体素子20の方が、半導体装置300に設けられた半導体素子20よりもより多くの電流を流すことが可能である。このため、半導体素子20として同等のものをを用いても半導体装置200の方が半導体装置300よりもより大きな電流を制御することができ、半導体装置が複数の半導体素子を用いて構成されるような場合には、使用する半導体素子の数がより少なくて済み、コストを低減することが可能である。

#### 【0061】

一方、従来の半導体装置において、金属基体上にダイヤモンド膜を設けた半導体素子放熱部材を用いているような場合には、図1に示す半導体装置200において、符号10で示される部分にダイヤモンド膜が設けられる。ダイヤモンド膜を用いた場合には、本発明の半導体装置と同様の構成とすることが可能であるものの、同一の膜厚を形成するために必要な時間が、絶縁性非晶質炭素膜に対してダイヤモンド膜では数倍から十数倍程度である。加えて、ダイヤモンド膜形成後にその表面を平滑化するための研磨工程が新たに必要となる。しかしながら、本発明の半導体装置では、絶縁性非晶質炭素膜を用いているため、符号10で示される絶縁部材の成膜に要する時間が短い上に、上記したような研磨工程も不要であるために、製造コストを低くすることができる。

#### 【0062】

次に、図1に示す半導体装置の構成をベースとした半導体装置のより詳細な構成例について説明する。図2は、本発明の半導体装置の他の一例について示した

模式断面図であり、具体的には、図1に示す半導体装置の主要部の構成に加えて、主要部を囲む部分や配線等のようなその他の構成についても示したものである。

#### 【0063】

図2中、40、41、42は引出電極、50、51、52はバスバー、60、61、62は配線、70、71は樹脂ブロック、80は封止用ゲル、201は半導体装置を示し、その他の符号で表される部材は、図1に示すものと同等の機能・構成を有するものである。なお、図2において、放熱板11と絶縁性非晶質炭素膜10との間に設けられるその他の層については記載を省略したが、図1と同様である。また、図2に示す引出電極40は、図1に示す中間層121、122に相当する部材であり、この引出電極40と半導体素子20との間に設けられるはんだ層については記載を省略してある。

#### 【0064】

半導体装置201は、放熱板11の片面には、放熱板11の片面全面を覆うように絶縁性非晶質炭素膜10が設けられ、絶縁性非晶質炭素膜10上に設けられた引出電極40を介して半導体素子20が搭載されている。なお、図2に示す半導体装置201において、絶縁性非晶質炭素膜10は、放熱板11の片面全面を覆うように設けられているが、必ずしも放熱板11の片面全面を覆うように設ける必要はなく、少なくとも半導体素子20と放熱板11とが絶縁されるように設けられていればよい。

また、半導体素子20の引出電極40が設けられた側と反対側の面には引出電極41および42が設けられている。放熱板11の両側には、放熱板11が「凹」の字の底辺を成し、「凹」の字の両側の縦線を成すように樹脂ブロック70および71が設けられている。

#### 【0065】

樹脂ブロック70の中央部近傍には、樹脂ブロック70を横方向に貫くようにバスバー（エミッタ用）51が設けられており、バスバー51は配線61を介して、半導体素子20のエミッタ電極に相当する引出電極41と接続されている。また、樹脂ブロック71の中央部近傍には、樹脂ブロック71を横方向に貫くよ



うにバスバー（コレクター用）50が設けられており、バスバー50の更に上側に樹脂ブロック71を横方向に貫くようにバスバー（ゲート用）52が設けられている。バスバー50は、半導体素子20のコレクター電極に相当する引出電極40と配線60を介して接続されており、バスバー52は、半導体素子20のゲート電極に相当する引出電極42と配線62を介して接続されている（なお、横方向とは、金属基体の幅方向を意味し、これ以降において説明する半導体装置の説明に際しても同様とする）。

#### 【0066】

また、放熱板11、樹脂ブロック70、樹脂ブロック71で囲まれた空間には、この領域と接している絶縁性非晶質炭素膜10、半導体素子20、引出電極40、41、42、バスバー50、51、52、配線60、61、62、樹脂ブロック70、71の部分を外気と遮断するように、封止ゲル80が充填してある。

#### 【0067】

なお、図2に示す半導体装置201のような構成において、半導体装置201が主に放熱板11と絶縁性非晶質炭素膜10とからなる1つの半導体素子放熱部材上に複数の半導体素子（例えば、6個のIGBT素子）や、ダイオード等が搭載されているような場合には、半導体装置201の回路構成は例えば図3のように示すことができる。

図3は、図2に示す半導体装置の回路図の一例について示す模式図であり、図3中、Bは電源、D1～D6はダイオード、S1～S6はIGBT素子（図2中の半導体素子20に相当する）、G1～G6はゲート電極端子、M1～M3はモータ用端子（三相インバーターを構成）を表す。なお、G1～G6およびM1～M3は不図示の配線により半導体装置外部に設けられた不図示の回路・モータ等と接続されている。

#### 【0068】

次に、図1に示した半導体装置200とは異なる構成を有する半導体装置について説明する。図4は、本発明の半導体装置の主要部の構成の他の例について示す模式断面図であり、図4中、10は絶縁性非晶質炭素膜、12は冷却板（金属基体）、20は半導体素子、210は半導体装置を示す。なお、図4中、半導体

素子 20 と絶縁性非晶質炭素膜 10 との間には、図 1 に示す半導体装置 200 と同様に、絶縁性非晶質炭素膜 10 上に順次、中間層 120、121、はんだ層 122 が設けられているが記載を省略してある。

#### 【0069】

半導体装置 210 は、片方の面がフィン形状でもう片方の面が平坦状からなる冷却板（金属基体）12 の平坦状の面に絶縁性非晶質炭素膜 10 を設け、不図示の中間層およびはんだ層を介して、絶縁性非晶質炭素膜 10 上に半導体素子 20 が搭載された構成を有している。

半導体装置 210 は例えば次のようにして作製することができる。まず、片方の面が予めフィン形状に成形加工された冷却板（金属基体）12 の平坦状の面に絶縁性非晶質炭素膜を設け、既述したような方法で中間層を設ける。次に、この中間層と半導体素子 20 とをはんだで接着することにより半導体装置 210 を得ることができる。

#### 【0070】

半導体装置 210 は、放熱効率の高いフィン形状の部分を空気等の流体等と接触させることにより、半導体素子 20 から冷却板 12 に伝導された熱を強制的に半導体装置 210 の外部へと放散することができる。一方、半導体装置 200 や半導体装置 300 の放熱板 11 の下面にも蟬付けする等により、図 4 に示すものと同様な冷却板 12 をフィン状の部分を下側にして設けることもできる。

しかし、半導体装置 210 は、半導体装置 200 や半導体装置 300 と比較すると、半導体素子 20 の強制的な冷却手段として機能する冷却板 12 との距離が短いために放熱特性が優れるのみならず、全体としての構成もより簡易とすることができる。

#### 【0071】

なお、半導体装置 200 において、放熱板 11 の下面に冷却板 12 を設けるような場合には、放熱板 11 の熱膨張係数を絶縁性非晶質炭素膜 10 と冷却板 12 との中間となるように調整することにより、半導体素子 20 の発熱温度と冷却板 12 のフィン部分近傍の温度との差が大きな場合においても、これら 3 つの部材の間で発生する熱応力をより効果的に緩和することができる。

## 【0072】

なお、冷却板（金属基体）12を構成する材料としては、既述したような金属材料を用いることができるが、フィン形状への加工の容易さの観点からは、 casting性や塑性加工性に優れたアルミニウム合金であることが好ましい。

## 【0073】

次に、図4に示す半導体装置210の構成をベースとした他の構成例について示す。図5は、本発明の半導体装置の主要部の構成の他の例について示す模式断面図であり、図5中、13は放熱板、220は半導体装置を示し、これ以外の符号で示される部分については図4に示す半導体装置210と同様である。

## 【0074】

なお、図5中、半導体素子20と放熱板13との間には、はんだ層が設けられているが記載を省略してあり、絶縁性非晶質炭素膜10と冷却板12との間には、絶縁性非晶質炭素膜10側から冷却板12側へと順に、中間層110、111、はんだ層112が設けられているが記載を省略してある。また、放熱板13は符号11や12で示される金属基体と同様の金属からなるものであり、例えば、Si-Al合金基板が用いられる。なお、放熱板13の厚みとしては、0.1～5mm程度のものが好適に用いられる。

## 【0075】

半導体装置220は例えば次のようにして作製することができる。まず、放熱板13の片面に絶縁性非晶質炭素膜10を設け、次に、放熱板13の絶縁性非晶質炭素膜10が設けられた側の面に、図7に示す半導体装置300と同様に中間層110、111を順次設け、その後、中間層111と冷却板12の平坦状の面とをはんだ付けする。最後に、放熱板13の絶縁性非晶質炭素膜10が設けられた側と反対側の面に半導体素子20をはんだ付けにより接着することにより半導体装置220を得ることができる。

## 【0076】

半導体装置220においては、放熱板13を電極として利用することができ、図1に示す半導体装置200と比較すると電極層として機能する絶縁性非晶質炭素膜の上側に設けられる中間層120、121が不要であり、電極として機能す

る放熱板 13 の厚みが厚いために半導体素子 20 に大電流が流れた場合の電気抵抗を小さくすることができる。

### 【0077】

#### 【実施例】

以下に本発明を実施例を挙げてより具体的に説明する。但し、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

#### (実施例 1)

実施例 1 では、図 1 に示す半導体装置と同様の構成を有する半導体装置を、金属基体上に直流プラズマ CVD 法により絶縁性非晶質炭素膜を形成する工程を経て作製し、評価した例について説明する。

#### <半導体装置の作製>

Cu が 35 at % および Mo が 65 at % からなる金属板を縦約 9 mm 横約 13 mm 厚さ 3 mm の板材に加工し、半導体素子放熱部材用の放熱板（金属基体）を作製した。次に、この放熱板を洗浄後、その片面にスパッタリング法により Cr 膜を膜厚が 0.2  $\mu$ m となるように形成した。

### 【0078】

その後、Cr 膜を片面に形成した放熱板をプラズマ CVD 装置の真空チャンバー内の試料台に設置し、真空チャンバー内を  $1.3 \times 10^{-2}$  Pa 以下となるまで排气した。次に、原料ガスとしてメタンを 50 sccm、テトラメチルシランを 4 sccm、また、希釈ガスとしてアルゴンを 30 sccm、水素を 30 sccm 導入し、全圧を 533 Pa に保ち、試料台との対極の間に直流電圧を印加し、水素とケイ素とを含む絶縁性非晶質炭素膜を放熱板の片面に設けられた Cr 膜表面に膜厚が約 3  $\mu$ m となるように形成した。なお、絶縁性非晶質炭素膜の成膜に要した時間は約 30 分であり、同じ膜厚のダイヤモンド膜を形成するのに数時間要するのと比較すると、極めて短時間で成膜することができた。また、成膜された絶縁性非晶質炭素膜に含まれる水素の含有量を、ERD 法（弾性反跳粒子法）により測定したところ 30 at % であり、ケイ素の含有量を EPMA（Electron Probe Micro Analyzer）により測定したところ 16 at % であった。

また、絶縁性非晶質炭素膜の結晶性についてX線回折によりCu管球を用いて加速電圧40KV、電流300mA、回折角測定領域 $10^{\circ} \sim 80^{\circ}$ として評価したところ、金属基体成分のCu、Mo、および、金属基体上に設けられたCr膜に起因するCrに起因する回折線以外にはシャープな回折線は確認されず、絶縁性非晶質炭素膜は非晶質であることが確認された。

#### 【0079】

その後、絶縁性非晶質炭素膜の表面にスパッタリング法により電極としてアルミニウム膜を膜厚が約 $1\mu\text{m}$ となるように形成し、さらに、このアルミニウム膜上にめっき法によりNi膜を膜厚が約 $2\mu\text{m}$ となるように形成した。最後に、Ni膜の表面に、縦横のサイズが放熱板と同等のIGBT素子をはんだ付けすることにより実施例1の半導体装置（以下、「半導体装置A」と略す）を得た。

#### 【0080】

##### <評価>

半導体装置Aを、図6に示すように冷却用の冷却ブロック上に固定した。次に、IGBT素子のエミッターコレクタ間に電源電圧を印加し、IGBT素子の発熱が80Wとなるようにゲート電圧を調整して熱抵抗と半導体素子の上昇温度とを測定した。

#### 【0081】

なお、図6は、放熱板を有する半導体装置（例えば、主要部の構成が図1（a）および図7（a）に示す半導体装置）を冷却用ブロック上に設置した一例について示した模式断面図である。図6において、放熱板11の半導体素子20が設けられた側と反対側の面と接するように、冷却水用流路91を設けた冷却ブロック90がグリース（不図示）を介して設けられており、半導体素子20から放熱板11へと伝導された熱が冷却ブロック90に放散される。上記の測定に際しては、温度 $25^{\circ}\text{C}$ の環境下で、冷却ブロックの90の温度がほぼ一定に保たれるように温度 $65^{\circ}\text{C}$ の冷却水を冷却水用流路に流して実施した。

#### 【0082】

上記したようにして測定した結果、主に放熱板と絶縁性非晶質炭素膜とからなる半導体素子放熱部材の全熱抵抗は約 $0.16\text{K/W}$ であり、また、IGBT素

子の温度上昇は約 13℃であった。なお、IGBT素子から大気中へと放散される熱量は、IGBT素子から半導体素子放熱部材から冷却ブロックへと放散される熱量と比較するとごく僅かであると考えられるため、上記の結果は実質的に後者の経路による放熱に起因するものとして扱うことができる。

#### 【0083】

##### (比較例 1)

比較例 1 では、図 7 に示す半導体装置と同様の構成を有する半導体装置を、作製し、評価した例について説明する。

##### <半導体装置の作製>

予め洗浄した縦約 9 mm 横約 13 mm 厚さ約 0.6 mm の窒化アルミニウム板 (絶縁板) の両面に、貼り合わせ法により膜厚 0.4 mm のアルミニウム膜を形成し、さらにめっき法により膜厚 5  $\mu$ m の Ni 膜を形成した。

次に、この絶縁板の片面に、実施例 1 で用いたものと同じ放熱板をはんだ付けし、もう片方の面に IGBT 素子をはんだ付けして比較例 1 の半導体装置 (以下、「半導体装置 B」と略す) を得た。

#### 【0084】

##### <評価>

半導体装置 B を、図 6 に示すように冷却用の冷却ブロック上に固定し、実施例 1 と同様にして熱抵抗と半導体素子の上昇温度とを測定した。その結果、全熱抵抗は約 0.24 K/W であり、IGBT 素子の温度上昇は約 20℃であった。

実施例 1 と比較例 1 との結果を比較すれば判るように、半導体装置 A は半導体装置 B よりも、熱抵抗を 30% 以上低減することができ、また、IGBT 素子の温度上昇を 7℃押さえることができた。

#### 【0085】

##### (実施例 2)

##### <半導体装置の作製>

Cu が 35 at% および Mo が 65 at% からなる金属板を縦約 8 cm 横約 24 cm 厚さ 3 mm の板材に加工し、半導体素子放熱部材用の放熱板 (金属基体) を作製した。次に、この放熱板を洗浄後、その片面に実施例 1 と同様にして Cr

膜、絶縁性非晶質炭素膜、アルミニウム膜、Ni膜を順次積層し、この上に6個のIGBT素子（縦約9mm横約12mm）と、6個のダイオード（縦約6mm横約11mm）をはんだ付けした。

#### 【0086】

更に、放熱板の周囲をプラスチック（樹脂ブロック）によりモールドし、バスバー等を配線し、バスバーとIGBT素子およびダイオードに接して設けた電極とをワイヤーボンドにより接続し、その後、プラスチックで周囲を囲われた放熱板上に樹脂を流しこんで封止し、IGBT素子の箇所を切断した断面が図2と同様の構成を有し、図3に示す回路構成を有する実施例2の半導体装置（以下、「半導体装置C」と略す）を得た。

#### 【0087】

##### <評価>

半導体装置Cの放熱板の下面にグリースを塗布し、図6に示すようにアルミニウム製の水冷ブロックに固定し、水冷ブロックの温度が一定に保たれるように、65℃の冷却水を冷却水用流路に流しながら、冷熱サイクル試験（大気中、-40℃乃至+105℃の温度サイクル）を行った。その結果、3000回以上の冷熱サイクルを行った後でも、IGBT素子と放熱板との間には剥離が発生しなかった。

この結果から、本発明の半導体素子放熱部材を用いた半導体装置では、過酷な環境下に曝されても、半導体素子と半導体素子放熱部材との間で剥離が発生せず、安定した放熱特性と絶縁耐性とを維持し続けることができることがわかる。

#### 【0088】

##### （実施例3）

##### <半導体装置の作製>

RFプラズマCVD装置を用いて絶縁性非晶質膜を形成した以外は実施例1と同様にして、実施例3の半導体装置（以下、「半導体装置E」と略す）を作製した。

なお、RFプラズマCVD装置による絶縁性非晶質膜の形成は以下のように行った。まず、Cr膜を片面に形成した放熱板を、RFプラズマCVD装置の真空

チャンバー内に設置し、真空チャンバー内を  $3 \times 10^{-3} \text{Pa}$  以下となるように排気した。次に、原料ガスとしてメタンを導入して真空チャンバー内の圧力を  $13.3 \text{Pa}$  に設定した。その後、試料台に  $13.56 \text{MHz}$  の RF 電圧を印加し、水素を含む絶縁性非晶質炭素膜を  $1 \mu\text{m}$  形成した。絶縁性非晶質炭素膜に含まれる水素の含有量を ERD 法により測定したところ約  $27 \text{at}\%$  であった。

また、絶縁性非晶質炭素膜の結晶性について X 線回折により Cu 管球を用いて加速電圧  $40 \text{KV}$ 、電流  $300 \text{mA}$ 、回折角測定領域  $10^\circ \sim 80^\circ$  として評価したところ、金属基体成分の Cu、Mo、および、金属基体上に設けられた Cr 膜に起因する Cr に起因する回折線以外にはシャープな回折線は確認されず、絶縁性非晶質炭素膜は非晶質であることが確認された。

#### 【0089】

##### <評価>

半導体装置 E を用いて、実施例 1 と同様にして熱抵抗と半導体素子の上昇温度とを測定した。その結果、半導体素子放熱部材の全熱抵抗は約  $0.16 \text{K/W}$  であり、また、IGBT 素子の温度上昇は約  $13^\circ\text{C}$  であった。

#### 【0090】

##### (実施例 4)

以上に説明した実施例および比較例では、放熱特性や、剥離性について評価したが、次に絶縁性有機膜を設けた場合の絶縁耐圧特性について評価した例を以下に示す。なお、絶縁性有機膜を設けた場合の絶縁耐圧特性の効果の確認を容易にするため、金属基体としては SUS 材を用い、また、金属基体表面に埃塵が付着しやすい環境にて実施例 4 の半導体素子放熱部材を作製した。

#### 【0091】

##### <半導体素子放熱部材の作製>

##### ー絶縁性非晶質炭素膜の形成ー

まず、金属基体として、直径  $30 \text{mm}$ 、厚み約  $3 \text{mm}$  の SUS 製の円盤状の金属基体を準備した。次に、この金属基体を洗浄することなく、そのままプラズマ CVD 装置の真空チャンバー内の試料台に設置し、真空チャンバー内を  $1.3 \times 10^{-2} \text{Pa}$  以下となるまで排気した。次に、原料ガスとしてメタンを  $50 \text{scc}$



m、テトラメチルシランを4 s c c m、また、希釈ガスとしてアルゴンを30 s c c m、水素を30 s c c m導入し、全圧を533 Paに保ち、試料台との対極の間に直流電圧を印加し、水素とケイ素とを含む絶縁性非晶質炭素膜を金属基体の表面（試料台と接していた面（以下、「裏面」と略す）、および、反対側の面）と側面とに形成した。金属基体の表面に形成された絶縁性非晶質炭素膜の膜厚は約3  $\mu$ mであった。なお、光学顕微鏡で、金属基体の表面を観察したところ、ピンホール欠陥が数百 $\mu$ m四方に1個程度の割合で観察され、ピンホール欠陥の大きさは最大で直径10  $\mu$ m前後であった。

### 【0092】

#### ー絶縁性有機膜の形成ー

次に、金属基体の裏面にリード線をはんだ付けし、側面、裏面およびリード線をエポキシ系の樹脂にて被覆した。

その後、ガラス製のセル（電着槽）内に、上記したような処理を施した金属基体と、この金属基体の表面に形成された絶縁性非晶質炭素膜と対向するように、金属基体の表面から2 cm離れた所に対向電極として銅板を設置し、銅板およびリード線を電源に接続した。さらに、金属基体と対向電極とが完全に水没するように下記組成物からなる熱可塑性カチオン型電着組成物を含む電着液を注いだ。

- ・水性分散体：4.9重量部
- ・シクロヘキサノン：14.0重量部
- ・ $\gamma$ -ブチラクトン：3.5重量部
- ・N-メチルピロリドン：17.5重量部
- ・水：60.1重量部

なお、この電着液は、上記水性分散体が、可溶性ポリイミドおよびアミン変性アクリルポリマーを混合・可溶したポリイミド粒子からなり、具体的にはJ S R（株）製EDP001を用いた。

### 【0093】

次に、対向電極に対して、金属基体の電圧が-10 Vとなるように電圧を10秒間印加して、絶縁性非晶質炭素膜上に電着膜を形成した。具体的には、絶縁性非晶質炭素膜（ピンホールが存在する部分も含む）表面近傍において、水のカソ

ード分解により水酸化物イオンが生成され、pHが上昇することによりプロトンが中和され、水性分散体が中性のコロイド粒子となり、このコロイド粒子がピンホールの周囲や絶縁性非晶質炭素膜上に析出（電析）し、電着膜が形成される。

電着膜を形成後、金属基体を電着槽から引き上げ、下記組成物からなる洗浄液中に浸漬して、電着していない未反応のカチオンを除去した。

- ・シクロヘキサノン：13重量部
- ・γ-ブチラクトン：3重量部
- ・N-メチルピロリドン：17重量部
- ・水：67量部

#### 【0094】

次に、絶縁性非晶質炭素膜上に電着膜が形成された金属基体を、100℃に加熱したホットプレート上に10分間設置し、電着膜中に含まれる溶媒を除去して乾燥させた後、温度250℃のオープン内に30分間設置して、電着膜を架橋重合させ絶縁性有機膜を形成し、実施例4の半導体素子放熱部材を得た。

なお、絶縁性非晶質炭素膜上に形成された絶縁性有機膜の膜厚は約2μm（ピンホール部分では5μm）であり、ピンホール部分は、絶縁性有機膜によって完全に埋め込まれていた。

#### 【0095】

##### <評価>

金属基体の表面に直径5mmの開口部を持つマスクを設置し、この開口部にイオンコーター（島津製作所（株）製、LC50）を用いて膜厚が0.1μmの白金からなる電極を形成した。次に、この白金電極の表面にカーブトレーサー（ソニー・テクトロニクス（株）製、370A型）のプローブを接触させて印加電圧を掃引して絶縁耐圧を測定した。

その結果、印加電圧を400Vまで上げても、リーク電流は極めて小さく、実質的に測定不可能なレベル（0.01μA以下）であり、絶縁破壊が起こらなかった。すなわち、実施例4の半導体素子放熱部材の絶縁耐圧は、少なくとも400V以上であることが判った。

#### 【0096】

なお、参考までに述べれば、上記の測定方法は、ピンホール内部にも白金が形成されるため、単に、金属基体の表面にプローブを接触させる場合と比べて、小さなピンホールに起因するリーク電流も逃さずに捉えることが可能であり、より厳格な測定方法である。

#### 【0097】

(比較例3)

実施例4の半導体素子放熱部材の作製に際して、絶縁性有機膜を設けなかった以外は、実施例4と同様に作製し、比較例3の半導体素子放熱部材を得た。次に、実施例4と同様にして絶縁耐圧を測定した。

その結果、低い印加電圧でもリーク電流が発生し、印加電圧の増加に伴いリーク電流が急増し、印加電圧が約40Vにおいて約36 $\mu$ Aのリーク電流が確認され、さらに、印加電圧が約84Vに達した時点で絶縁破壊が発生した。

実施例4および比較例3の結果から、絶縁性非晶質炭素膜にピンホール欠陥が多く発生していても、絶縁性非晶質炭素膜上に絶縁性有機膜を形成すれば、十分な絶縁耐圧が確保できることがわかる。

#### 【0098】

##### 【発明の効果】

以上に説明したように本発明によれば、放熱特性および密着性に優れ、低コストで半導体装置を作製することができる半導体素子放熱部材、および、それを用いた半導体装置並びにその製造方法を提供することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の半導体装置の主要部の構成の一例について示す模式断面図である。

【図2】 図2は、本発明の半導体装置の他の一例について示した模式断面図である。

【図3】 図2に示す半導体装置の回路図の一例について示す模式図である。

【図4】 本発明の半導体装置の主要部の構成の他の例について示す模式断面図である。

【図 5】 本発明の半導体装置の主要部の構成の他の例について示す模式断面図である。

【図 6】 放熱板を有する半導体装置を冷却用ブロック上に設置した一例について示した模式断面図である。

【図 7】 従来の半導体装置の主要部の構成の一例について示す模式断面図である。

【符号の説明】

- 10 絶縁性非晶質炭素膜
- 11 放熱板（金属基体）
- 12 冷却板（金属基体）
- 13 放熱板
- 20 半導体素子
- 30 絶縁板
- 40、41、42 引出電極
- 51、52、53 バスバー
- 61、62、63 配線
- 70、71 樹脂ブロック
- 80 封止用ゲル
- 90 冷却ブロック
- 91 冷却水用流路 91
- 110、110'、111、120、121 中間層
- 112、122 はんだ層
- 200 半導体装置
- 201 半導体装置
- 210 半導体装置
- 220 半導体装置
- 300 半導体装置
- B 電源
- D1～D6 ダイオード

S 1 ～ S 6 I G B T 素子（図 2 中の半導体素子 2 0 に相当する）

G 1 ～ G 6 ゲート電極端子

M 1 ～ M 3 モータ用端子

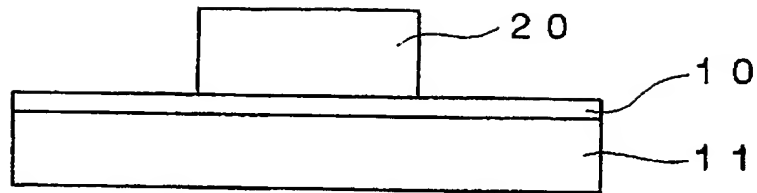
【書類名】

図面

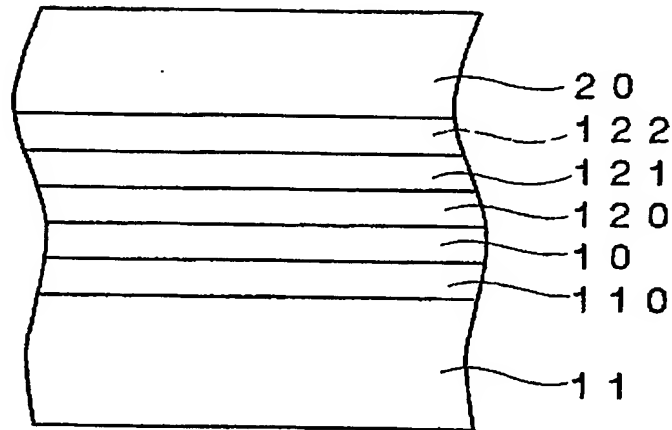
【図 1】

200

(a)

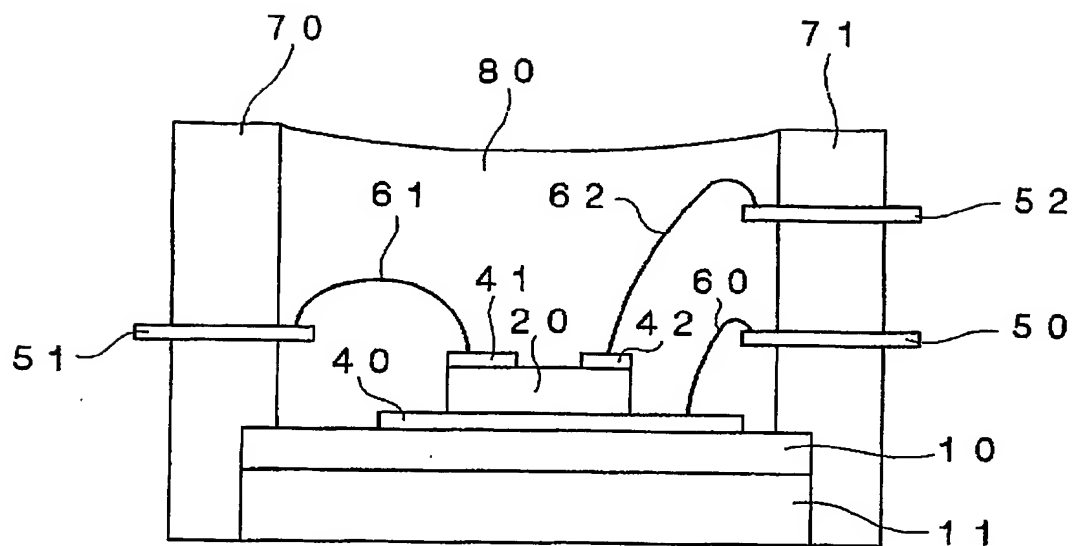


(b)

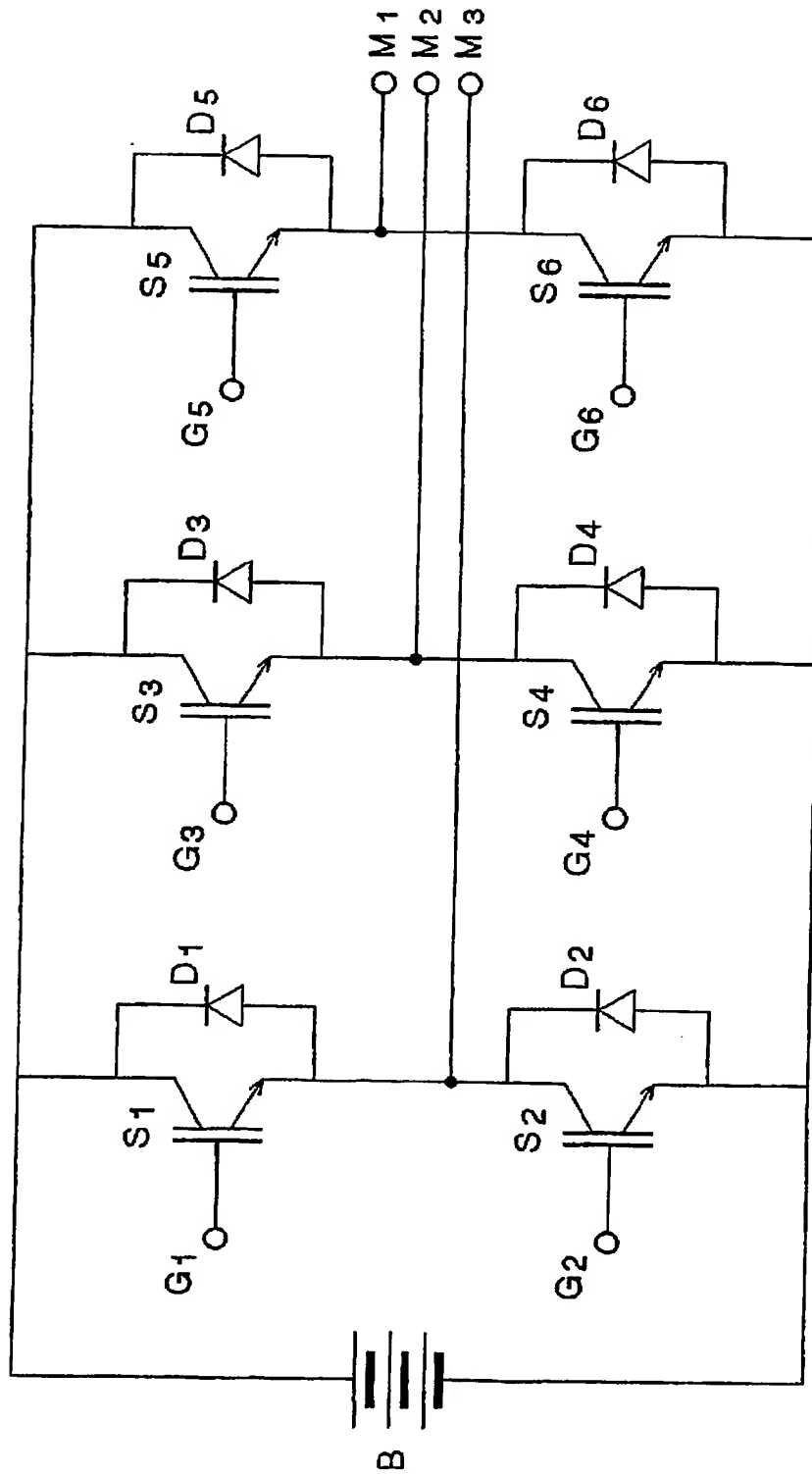


【図 2】

201

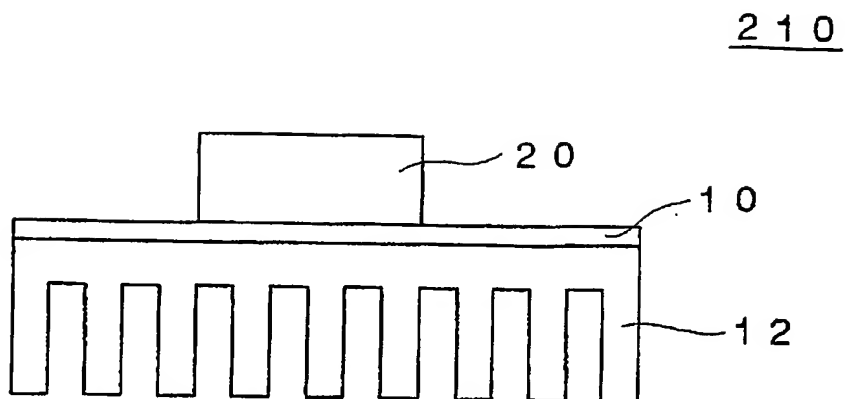


【図 3】

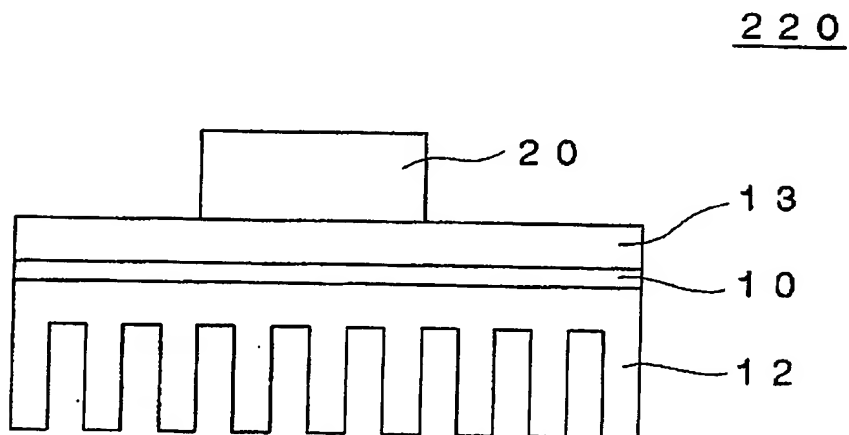




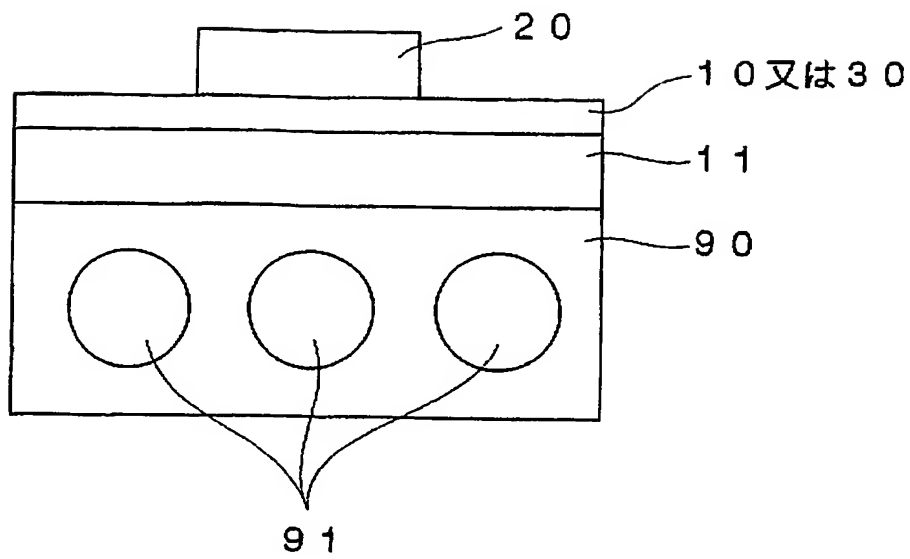
【図4】



【図5】

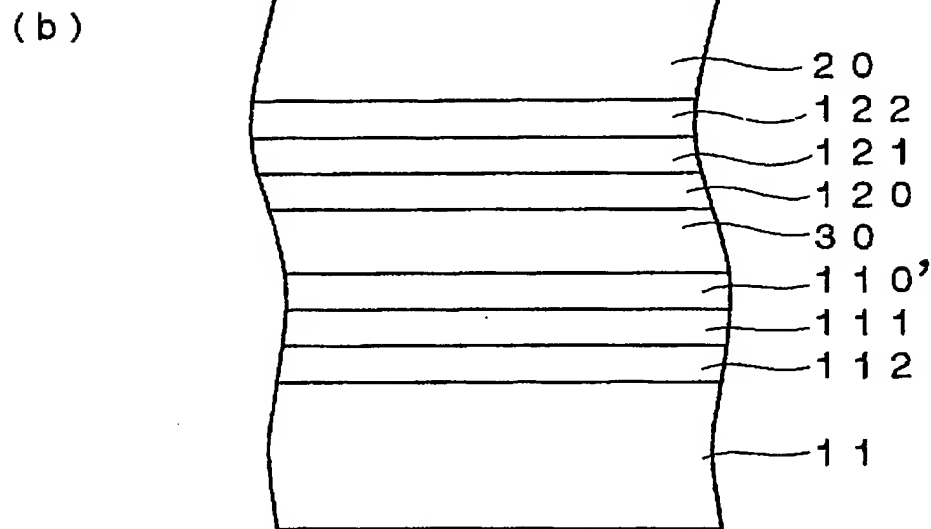
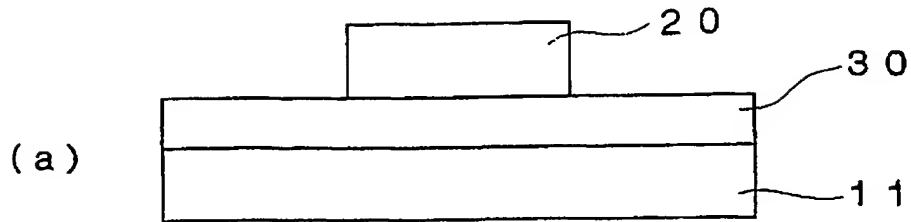


【図6】



【図 7】

300



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】放熱特性および密着性に優れ、低コストで半導体装置を作製することができる半導体素子放熱部材、および、それを用いた半導体装置並びにその製造方法を提供すること。

【解決手段】金属基体 1 1 上に半導体素子 2 0 を 1 個以上搭載する半導体素子放熱部材において、金属基体 1 1 の、少なくとも半導体素子 2 0 を搭載する部分に、水素を含む絶縁性非晶質炭素膜 1 0 を設けたことを特徴とする半導体素子放熱部材 2 0 0。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 3 5 7 0 7 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 3 6 0 9 ]

1. 変更年月日  
[変更理由]

1 9 9 0 年 9 月 6 日

新規登録

住 所  
氏 名

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1  
株式会社豊田中央研究所